This is a reproduction of a library book that was digitized by Google as part of an ongoing effort to preserve the information in books and make it universally accessible.

Google™ books

http://books.google.com

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

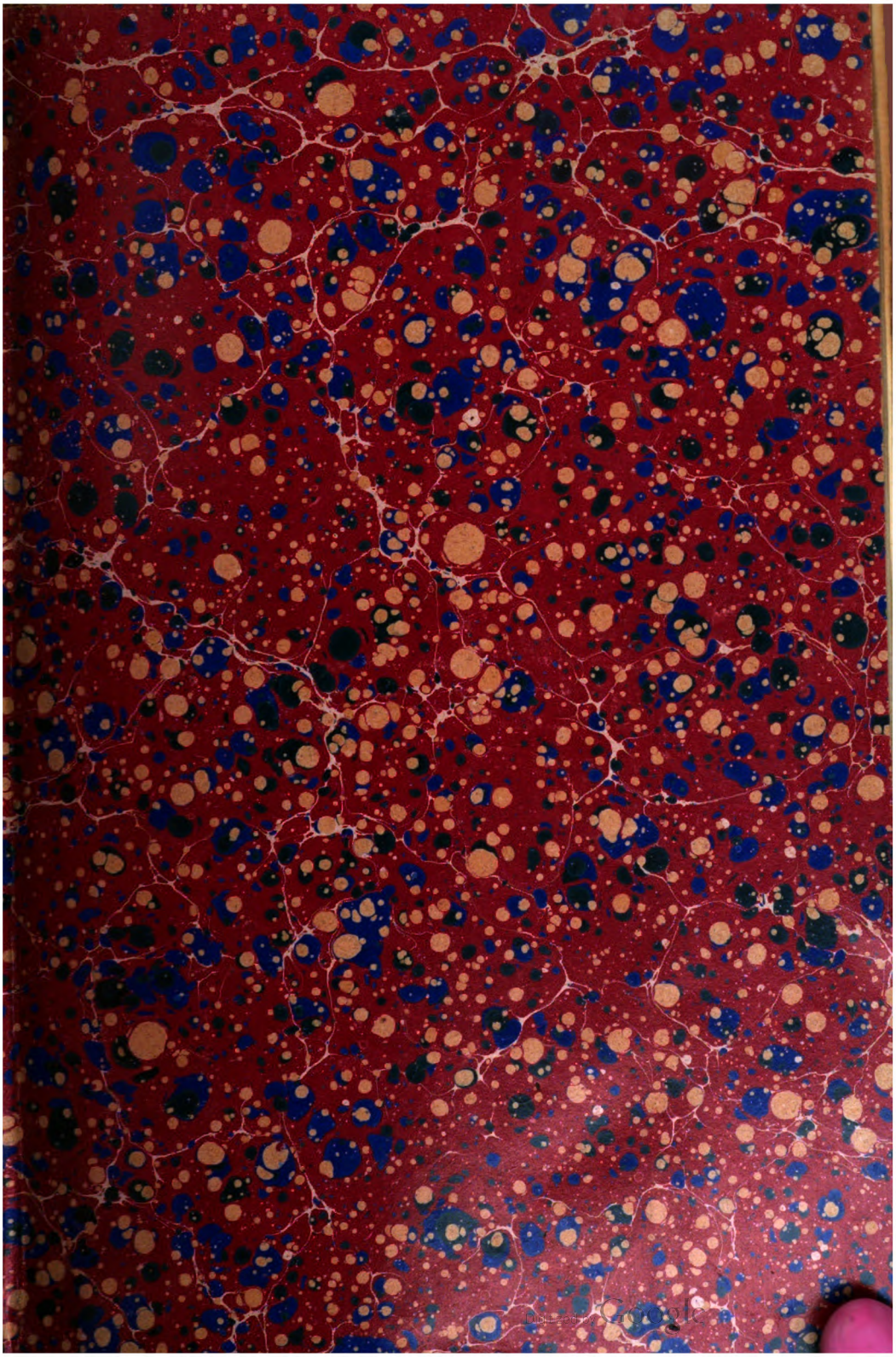
+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF CALIFORNIA.
GIFT OF
Erlangen Universität
Received ....., 189..
Accession No. 86966 . Class No. .....


Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

5.

STUDIEN

UEBER DEN

DUNKLEN KATHODENRAUM.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FACULTÄT

DER

FRIEDRICH-ALEXANDERS-UNIVERSITÄT ERLANGEN

VORGELEGT

VON

ARTHUR WEHNELT,

AUS RIO DE JANEIRO, BRASILIEN.

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

TAG DER MÜNDLICHEN PRÜFUNG: 17. FEBRUAR 1898.

LEIPZIG,

JOHANN AMBROSIUS BARTH

1898.

Digitized by Google

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

Digitized by Google

I. Bedeutung des dunklen Kathodenraumes für die Vorgänge der Entladung.

1. Einleitung.

Während durch zahlreiche Untersuchungen die Eigenschaften des positiven Lichtes, des Glimmlichtes und der Kathodenstrahlen eingehend erforscht sind, fehlen derartige Untersuchungen über den dunklen Kathodenraum, das von Hrn. Goldstein als zweite Kathodenschicht bezeichnete Gebilde, noch in mancher Hinsicht, trotzdem derselbe bei dem Vorgange der Entladung eine ganz hervorragende Rolle spielt. Die grundlegenden Untersuchungen von Hrn. W. Hittorf[1] haben ergeben, dass an der Kathode ein grosser Uebergangswiderstand besteht. Die Herren A. Schuster, E. Warburg u. a. haben das Kathodengefälle genauer untersucht. Versuche von Hrn. E. Wiedemann[2]) haben gezeigt, dass sobald eine bis auf die Spitze mit Glas isolirte Anode oder die Mündung einer Glasröhre[3]), an deren anderem Ende sich die Anode befindet, in den um eine kreisförmige Platte entstehenden dunklen Kathodenraum eingeführt wird, das Entladungspotential sehr hoch steigt. An Stelle der stetigen Entladung treten einzelne Funken.

Nach diesen Untersuchungen setzen diejenigen Stellen der Entladungsröhren, denen bei der Entladung selbst *der dunkle Kathodenraum entspricht, dem Austritt der positiven Electricität d. h. der Ausbildung der positiven Entladung einen sehr grossen Widerstand entgegen*, mag dieselbe durch die metallische Anode oder durch die positive, leuchtende Gassäule zugeführt werden.

Zur Beurtheilung der Wirkungsweise des dunklen Raumes musste untersucht werden, ob der Widerstand in ihm dem-

---

1) W. Hittorf, Pogg. Ann. **136.** p. 1 u. 197. 1869; Wied. Ann. **20** p. 705. 1884; **21.** p. 95. 1884.

2) E. Wiedemann, Wied. Ann. **20.** p. 767. 1883.

3) E. Wiedemann, Wied. Ann. **63.** p. 242. 1897.

Digitized by Google

jenigen entspricht, wie ihn ein *Dielectricum* darbietet, in welchem die Entladungen in Form von schnell gedämpften Funken ablaufen, oder demjenigen eines sehr *schlechten Leiters*. Untersuchungen der Herren E. Wiedemann und G. C. Schmidt[1]) haben nun ergeben, dass, während die leuchtende Gassäule in hohem Grade befähigt ist, die von dem Endcondensator eines Lecher'schen Drahtsystemes ausgehenden Schwingungen aufzunehmen, der dunkle Kathodenraum nur eine geringe solche Wirkung zeigt.

Diese Versuche deuten darauf hin, dass der dunkle Kathodenraum sich wie ein Dielectricum verhält, und dass daher, falls man unter geeigneten Versuchsbedingungen eine Entladung durch den dunklen Raum erzwingt, die Entladung einen *disruptiven Charakter* wie in Paraffinöl etc. annehmen muss.

Als Reagenz auf die Natur dieser Entladungen diente mir die Eigenschaft schnell gedämpfter Entladungen, sei es, eine Frittröhre[2]) *zu beeinflussen, sei es, in einem Lecher'schen Drahtsysteme schwach gedämpfte Resonanzschwingungen zu erregen.*

2. Versuchsanordnung.

a) Entladungsröhren.

Die Entladungsröhren hatten die im einzelnen später angegebene Form. Die Electroden derselben waren stets aus Aluminium hergestellt. Die Röhren waren grösstentheils mittels gewöhnlicher Schliffe an die Quecksilberpumpe angesetzt, nur in ganz vereinzelten Fällen wurden sie zur Vermeidung von Fettdämpfen direct an dieselbe angeschmolzen.

Sollten bewegliche Electroden, die einander genähert werden konnten, benutzt werden, so wurde ein Rohr, wie etwa Fig. 1, die die ganze Anordnung[3]) zeigt, verwendet.

---

1) E. Wiedemann u. G. C. Schmidt, Wied. Ann. **62.** p. 462. 1897.

2) Ich benutze im Anschluss an Hrn. Slaby statt des englischen Wortes „Coherer" den deutschen Ausdruck „Frittröhre". A. Slaby, Die Funkentelegraphie. Berlin, Verlag von Leonhard Simion, 1897. p. 16.

3) Eine solche Anordnung wurde von Hrn. E. Wiedemann, Wied. Ann. **20.** p. 764. 1883 angegeben, die von mir benutzte Form entsprach im wesentlichen der von Hrn. R. Wood, Wied. Ann. **59.** p. 246. 1897 beschriebenen.

Digitized by Google

An den weiten Schliff s konnten beliebig geformte Röhren angeschmolzen werden. An den Schliff s war nach abwärts ein 90 cm langes Glasrohr γ_2 von 1,5 cm Durchmesser angesetzt; durch p stand es mit der Quecksilberpumpe in Verbindung. Das abwärts führende Rohr tauchte in ein Gefäss G mit Quecksilber. So konnte eine, an einem langen U-förmig gebogenen Rohr γ_1 befindliche Electrode K um eine beliebige Strecke auf und ab geschoben werden. Die Zuleitung zur Electrode geschah durch den bei D eingeschmolzenen Platindraht. Die Verschiebungen der Electrode K resp. die Abstände derselben von der durch g eingeführten Electrode und die Ausdehnung des dunklen Raumes wurden an einer an der Aussenwand des Rohres befestigten Papierscala abgelesen.

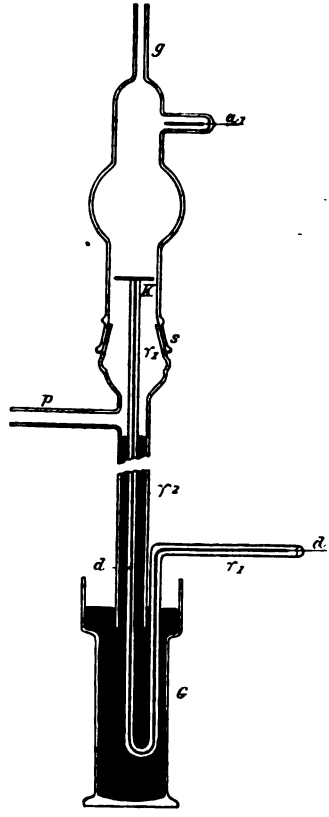


Fig. 1.

b) Pumpen und Manometer.

Zur Evacuation diente theils eine kleine Quecksilberluftpumpe nach Spiess[1]), theils eine solche nach Raps.[2]) Der Druck wurde in allen Fällen mittels eines stets mit der Pumpe verbundenen MacLeod'schen Manometers gemessen.

c) Stromquellen.

Als Stromquelle diente gewöhnlich, wenn nichts besonderes bemerkt ist, eine 20plattige Influenzmaschine[3]), die die Resonanz-

1) P. Spiess, Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. 8. p. 363. 1895.

2) Raps, Wied. Ann. 43. p. 629. 1891 u. Zeitschr. f. Instrumentenk. 1891. p. 256.

3) Dieselbe gehört Herrn E. Wiedemann und war von ihm aus Mitteln des Elisabeth Thompson-Fond angeschafft worden.

Digitized by Google

erscheinungen besonders rein zeigte, oder, falls grössere Entladungspotentiale erforderlich waren, ein Inductionsapparat[1]) für 30 cm Funkenlänge, betrieben mittels Deprezunterbrechers. In einem Falle wurde auch ein Kontrollversuch mit einem Hochspannungsaccumulator nach Zehnder von 1000 Zellen angestellt.

d) Nachweis der Wellen.

1) Als Indicator für das Auftreten der kurz abgerissenen disruptiven Entladungen diente die Branly'sche Frittröhre in der ihr von Marconi gegebenen Form; in einem Falle auch ein Empfänger bestehend aus zwei Stahlnadeln, auf denen lose eine dritte auflag. Diese Empfänger waren mit einem Galvanometer in den Stromkreis einer Thermosäule eingeschaltet. Dieselbe empfiehlt sich als Stromquelle einmal wegen der geringen Intensität der Ströme und dann weil sich durch Aenderung der Entfernung zwischen Thermosäule und Wärmequelle, der Ausschlag im Galvanometer leicht auf eine beliebige, geeignete Grösse bringen lässt. Um nicht durch die bei mangelhaftem Contact auftretenden Fünkchen und die dadurch hervorgerufenen disruptiven schnell gedämpften Entladungen getäuscht zu werden, war bei diesen, wie bei allen folgenden Versuchen, besondere Sorgfalt auf die Herstellung guter metallischer Contacte an allen Verbindungsstellen verwendet worden.

Sämmtliche Contacte wurden entweder durch Quecksilbernäpfchen oder durch fest angezogene Klemmschrauben hergestellt und nicht, wie es häufig beim Arbeiten mit Entladungsröhren geschieht, nur durch in Oesen eingehängte Drähte.

Zwischen die Electroden der Maschine und die in den Beobachtungsraum führenden Drähte waren in manchen Fällen 2 grosse Wasserwiderstände geschaltet. Dadurch wurden Wellen, welche durch kleine Fünkchen an den Aufsaugern der Maschine entstanden, und sich durch die Drahtleitungen in den Beobachtungsraum fortpflanzten, sehr geschwächt. Diese Wellen veranlassten sonst ein stetes Ansprechen der Frittröhre, das die Beobachtung des Eintrittes der von dem Entladungsrohr aus-

1) Bezogen von der Firma F. Ernecke in Berlin. Dieser Apparat zeichnet sich durch ein vorzügliches regelmässiges Functioniren aus, was für die Beobachtung der Resonanzerscheinungen von wesentlichem Werthe ist.

Digitized by Google

gehenden Wellen sehr erschwerte, sogar mitunter unmöglich machte. Die jetzt noch von der Maschine zur Frittröhre gelangenden Wellen gaben nur einen sehr geringen und constanten Ausschlag am Galvanometer, sodass der Augenblick des Auftretens von Wellen im Entladungsrohr scharf festgestellt werden konnte. Zugleich erleichterten die Widerstände eine genauere Ablesung der Entladungspotentiale am Electrometer infolge des langsameren Zuströmens der Electricität zu demselben.

Bei einem Teil der Versuche wurden die zu untersuchenden Röhren statt der primären Funkenstrecke in ein Lecher'sches Drahtsystem eingeschaltet. Letzteres entsprach im wesentlichen der von den Herren H. Ebert und E. Wiedemann[1]) angegebenen Form. Die primären Condensatoren, deren Capacität beliebig geändert werden konnte, bestanden aus quadratischen Zinkplatten von je 30 cm Seitenlänge. Die Drahtlänge des Lecher'schen Systems betrug 600 cm, der Abstand der Drähte 30 cm. An den Enden der Drähte befand sich ein Condensator mit runden Platten von 20 cm Durchmesser, deren Abstand beliebig geändert werden konnte. An diesen Condensator wurden die von den Herren H. Ebert und E. Wiedemann in ihren Arbeiten beschriebenen empfindlichen electrodenlosen Röhren als Indicatoren etwaiger auftretender Resonanz angelegt.

e) Potentialmessungen.

Zur Messung der Potentiale diente theils ein Righi'sches Elektrometer theils ein Funkenmikrometer mit Kugeln von 1,0 cm Radius. Zur Berechnung der Entladungspotentiale mittelst letzterem wurde die von Heydweiller (Hülfsbuch für die Ausführung electrischer Messungen) angegebene Tabelle Nr. 13 (Funkenpotentiale bei gleichen Kugelelectroden; $r = 1{,}0$ cm nach Czermak, Freyberg, Paschen, Quincke) benutzt.

3. Einfluss des dunklen Kathodenraumes an metallischen Kathoden.

a) Versuche bei denen durch Evacuation der dunkle Raum der Anode genähert wurde.

Die im Folgenden beschriebenen Versuche haben ergeben, dass, *sobald der positiven Entladung der Weg zum Glimmlicht*

1) H. Ebert u. E. Wiedemann, Wied. Ann. 48. p. 49 ff. 1893.

Digitized by Google

durch den dunklen Raum abgeschnitten ist, die Entladungen disruptiv und schnell gedämpft sind, der dunkle Raum sich also wie ein vollkommenes Dielectricum verhält.

1. *Vorversuch mit dem Stahlnadelempfänger* (vgl. p. 6). Um zu untersuchen, ob überhaupt schnell gedämpfte Entladungen in Entladungsröhren zu erhalten sind, benutzte ich ein cylindrisches Rohr von 10 mm lichter Weite mit zwei kreisförmigen, den Querschnitt des Rohres fast ausfüllenden Aluminiumelectroden (Fig. 2). Der Abstand der Electroden betrug ca. 2 cm.

Der Versuch ergab, *dass bei geringer Evacuation keine die Frittröhre erregenden Wellen ausgesandt wurden, dass aber bei starker Evacuation dann, wenn der dunkle Raum die Anode völlig umhüllte, eine ganz andere Form der Entladung auftrat, indem starke electrische Wellen von dem Rohre ausgingen*, die durch einen Ausschlag des Galvanometers selbst dann noch bemerk-

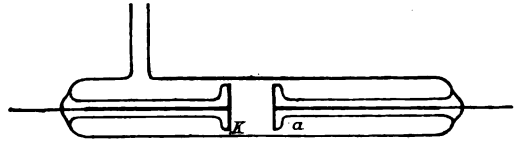


Fig. 2.

bar waren, wenn der Empfänger 5 m von der Röhre entfernt war.

2. *Verfahren unter Benutzung des Lecher'schen Drahtsystems* (s. p. 7). Die Herren H. Ebert und E. Wiedemann[1]), deren Resultate später von Hrn. R. Apt[2]) bestätigt worden sind, haben gefunden, dass eine kräftige Anregung von electrodenlosen Entladungsröhren am Endcondensator eines Lecher'schen Drahtsystemes nur dann auftritt, wenn die erregenden Funken schnell gedämpft sind, und dass keine Anregung vorhanden ist, wenn statt des Funkens in Luft von höherem Druck die Entladung in einer Geisslerröhre verwandt wird, und zwar selbst dann nicht, wenn das Entladungspotential in letzterem Falle ein wesentlich höheres ist, als im ersteren. Diese älteren Versuche waren nur mit Röhren, in denen hohe Drucke (1 mm und mehr) herrschten, angestellt worden.

---

1) H. Ebert u. E. Wiedemann, Wied. Ann. **49.** p. 36 ff. 1893.
2) R. Apt, Wied. Ann. **61.** p. 301 ff. 1897.

Digitized by Google

Ich habe geprüft, ob die bei meinem ersten Versuche benutzte Röhre (Fig. 2) statt der primären Funkenstrecke in ein Lecher'sches Drahtsystem eingeschaltet, bei genügender Evacuation eine kräftige Resonanz und dadurch ein Ansprechen einer Entladungsröhre am Endcondensator herbeiführen würde.

In der That sprach am Endcondensator eine electrodenlose Röhre an, wenn statt der primären Funkenstrecke das Entladungsrohr eingeschaltet wurde, sowie soweit evacuirt war, dass der dunkle Raum die Anode umhüllte.

Um aber festzustellen, dass *stets, wenn die positive Entladung durch den dunklen Raum zum Glimmlicht geht, solche*

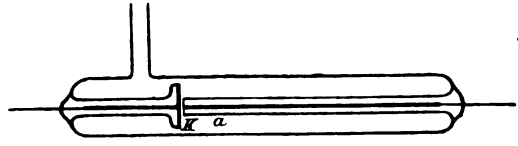


Fig. 3.

disruptiven schnell gedämpften Entladungen auftreten, wurden folgende Versuche angestellt.

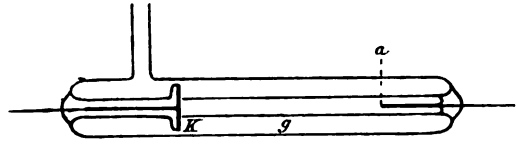


Fig. 4.

a) Zunächst wurde die Anode *a* (Fig. 3), die aus einem *bis zum Ende in einer Glasröhre steckenden Aluminiumdrahte* bestand, bis auf ungefähr 0,2 mm der scheibenförmigen Kathode *K* genähert. Schon bei einem Druck $p = 0{,}1$ mm Quecksilbersäule und einem Entladungspotentiale von 5000 Volt trat eine ausserordentlich reine und kräftige Resonanz im Drahtsysteme auf. Wurde die Anode *nicht bis zur Spitze in Glas eingehüllt*, sondern blieb sie auf eine Länge von ungefähr 5 mm frei, so trat die Erscheinung der disruptiven, schnell gedämpften Entladung erst sehr viel später bei $p = 0{,}03$ mm Hg auf, wobei auch das Entladungspotential wuchs und zwar bis auf 15000 Volt.

Digitized by Google

b) Es wurde eine Röhre untersucht, in der die *positive Entladung durch ein längeres Glasrohr*[1]) in den dunklen Raum eingeführt wurde. Die Röhre (Fig. 4) besass eine kreisförmige Kathode *K*. Die kurze Anode aus Aluminiumdraht befand sich am Ende einer ungefähr 10 cm langen Glasröhre *g* von 3 mm innerem Durchmesser, deren Ende wieder bis auf 0,2 mm der Kathode genähert war. Die disruptive schnell gedämpfte Entladung trat hier bei $p = 0{,}2$ mm und einem Entladungspotential von 13000 Volt ein.

Wurde die Mündung der Glasröhre zu einer engen Spitze ausgezogen, so trat die typische Entladung schon bei $p = 0{,}3$ mm Hg ein, das Entladungspotential betrug 6500 Volt. Ein vorzüglicher Beweis dafür, dass nur dadurch, dass der dunkle Raum die Mündung der die positive Entladung zuführenden Röhre verschliesst, die disruptive schnell gedämpfte Entladungsform eintritt, ergab sich aus Folgendem.

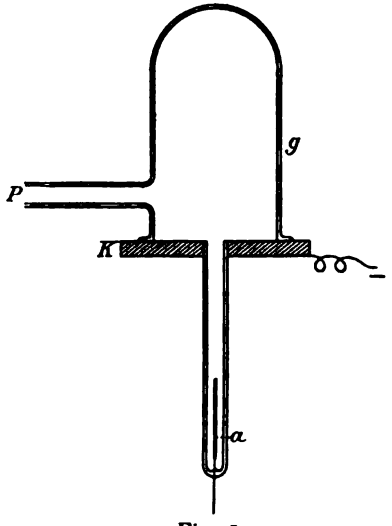


Fig. 5.

An der Anode schlug plötzlich bei *a* (Fig. 4) die Entladung die Glasröhre durch, und sofort hörte die disruptive Entladung auf, denn jetzt war dem positiven Licht ein Weg zur Vereinigung mit dem Glimmlicht gegeben, ohne erst den dunklen Raum durchbrechen zu müssen, und in der That sah man deutlich aus der bei *a* entstandenen Oeffnung geschichtetes positives Licht austreten.

c) Eine *anderweitige Anordnung*, die positive Entladung zu zwingen, sich durch den dunklen Raum hindurch mit dem Glimmlicht und zwar von rückwärts zu vereinigen, ist in Fig. 5 dargestellt. Ein an einer Seite halbkugelförmig geschlossenes

1) Vgl. E. Wiedemann, Wied. Ann. **68.** p. 243. 1897.

Digitized by Google

Glasrohr *g* war auf der anderen Seite durch eine aufgekittete Aluminiumplatte *K* verschlossen. Letztere diente als Kathode. In eine Durchbohrung in der Mitte derselben war eine enge Glasröhre gekittet, die am Ende eine eingeschmolzene Anode *a* enthielt. Durch diese Anordnung wurde erreicht, dass schon bei relativ hohen Drucken die disruptiven schnell gedämpften Entladungen eintraten.

Bemerkung. Zum Beweise, dass nicht etwa nur durch ein *besonders hohes Ansteigen des Entladungspotentiales* die Resonanzerscheinungen veranlasst werden, wurden zwei Röhren benutzt, die bei gänzlich verschiedener Form (die eine entsprach der Fig. 3, die andere einer Geisler'schen Röhre, wie sie zur Spectralanalyse gebraucht werden, nur betrug die Länge der Capillare 75 cm), bei einem gleichen Drucke von 0,24 mm Hg dasselbe Entladungspotential, nämlich 10000 Volt besassen. Es zeigte sich, dass man mit der ersteren Röhre vorzügliche Resonanz erhielt, während bei der zweiten Röhre nicht das geringste Anzeichen einer solchen zu erkennen war.

b) Versuche, bei denen Anode und Kathode mechanisch genähert wurden.

Bei den bisher benutzten Röhren wurde durch allmähliches Auspumpen der dunkle Raum solange vergrössert bis er die Anode einschloss und dadurch die abgerissenen disruptiven Entladungen auftraten. Bei den folgenden Versuchen wurde ein Rohr mit beweglicher Kathode benutzt. Dasselbe gestattete bei gleich bleibendem Drucke ein mechanisches Vorschieben des dunklen Raumes und dadurch eine viel sicherere Beobachtung und auch einwandfreiere Prüfung obiger Annahme, dass der dunkle Raum dielectrische Eigenschaften hat. Das Rohr (Fig. 1) war cylindrisch mit einer kugelförmigen Erweiterung in der Mitte. Die beiden cylindrischen Theile mit gleichem Durchmesser von 3 cm waren je 15 cm lang. Die Erweiterung hatte 6 cm Durchmesser. *a* ist eine seitwärts eingeschmolzene Hülfselectrode. In das kurze Ansatzrohr *g* wurden verschiedene Electroden eingekittet. Zunächst wurde als Anode ein bis zur Spitze in Glas befindlicher Aluminiumdraht benutzt.

Der Gang der Messungen war folgender:

Digitized by Google

Bei einem grösseren Abstande der Electroden wurde das Rohr ausgepumpt, bis der dunkle Raum die gewünschte Länge hatte, worauf an dem Manometer der Druck abgelesen wurde. Derselbe blieb während einer Messung genügend constant, da das Rohr stets mit der Pumpe, dem Manometer und ausserdem noch mit einer stets gleichzeitig mit ausgepumpten grossen Flasche von 1 Liter Inhalt verbunden blieb. Hierauf wurde die bewegliche Electrode der feststehenden genähert. Bei verschiedenen Abständen zwischen a und k wurde das Entladungspotential gemessen. Das aus dem Ansprechen der Frittröhre sich ergebende Auftreten der disruptiven schnell gedämpften Entladungen ist in den Tabellen besonders durch ein * angedeutet.

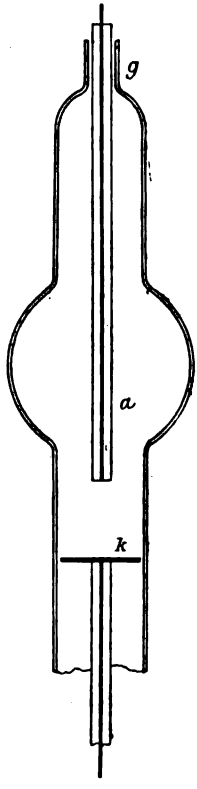


Fig. 6.

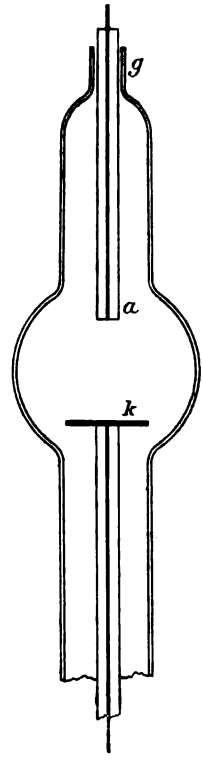


Fig. 7.

Es wurde eine Reihe Messungen in dem unteren cylindrischen Theile (Fig. 6) und eine zweite in dem mittleren kugelförmigen Theile (Fig. 7) ausgeführt. Die erste dieser Messungsreihen wurde bei drei verschiedenen Drucken, d. h. drei verschiedenen Längen des dunklen Raumes vorgenommen. Um zugleich die von Hrn. Hagenbach[1]) beobachtete Umkehr der Ventilwirkung, die später besonders behandelt werden soll, mit in den Bereich der Beobachtung zu ziehen, wurde je eine Messungsreihe aufgenommen, wenn der Strom von Spitze zu Platte, und je eine, wenn er umgekehrt verlief.

In den folgenden Tabellen bezeichnet l den Abstand der

1) Ed. Hagenbach, Wied. Ann. **63.** p. 1 ff. 1897.

Digitized by Google

Electroden. V_{sp} das Entladungspotential, wenn der Strom von Spitze zu Platte, d. h. also bei Spitzenstellung, V_{pl} das-

Tabelle I.

Druck = 0,1 mm Hg.
Ausdehnung des dunklen Raumes = 15 mm.

l	V_{sp}	V_{pl}	V_{sp}/l	V_{pl}/l
49	550	1580*	11,23	31,6
38	550	1700*	14,5	42,5
30	550	1700*	18,3	56,7
20	630	1580*	31,5	79
15	780	1500*	52	100
10	950	1450*	95	145
5	1480	1480	296	296
4	1840*	2120	460	530
3	2550*	3460*	850	1153
2	4060*	6330*	1030	3165
1	8550*	6560*	8550	6560

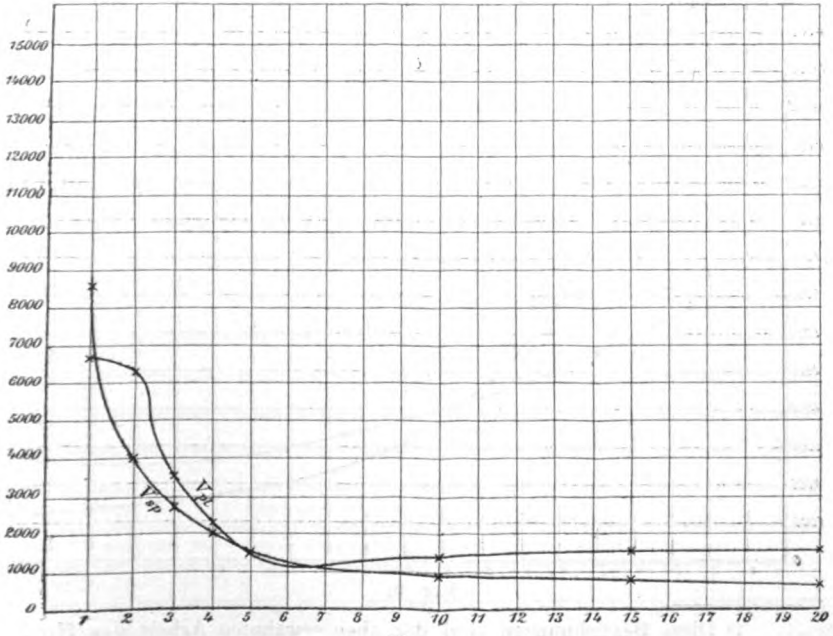


Fig. 8.

Digitized by Google

jenige, wenn er von Platte zur Spitze geht, d. h. also bei Plattenstellung.[1]) Die Quotienten V_{sp}/l und V_{pl}/l bedeuten die Festigkeit des dunklen Raumes bei Spitzen- und bei Plattenstellung oder mit anderen Worten die mittleren Potentialgradienten.

Tabelle II.

Druck = 0,045 mm.

Ausdehnung des dunklen Raumes = 28 mm.

l	V_{sp}	V_{pl}	V_{sp}/l	V_{pl}/l
50	1000	3160*	20	63,2
40	1040	3000*	26	75
30	1040	2830*	31,3	94,3
20	1130	2730*	56,5	136,5
15	1730*	2550*	115,4	170
10	3080*	3670*	308	367
5	8600*	5560*	1720	1112
2,5	14780*	6700*	5912	2680

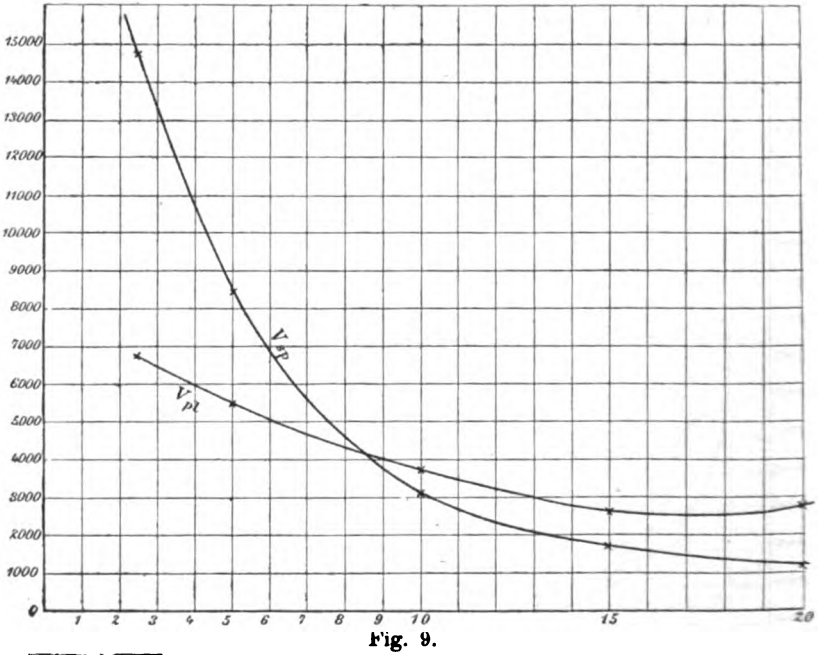


Fig. 9.

1) Diese Bezeichnungen sind der oben erwähnten Arbeit des Hrn. Hagenbach entlehnt.

Digitized by Google

Tab. I—III sind im engen cylindrischen Theile, Fig. 6, Tab. IV im mittleren kugelförmigen Theile, Fig. 7, aufgenommen. Die Resultate jeder Tabelle sind ferner als Curven gezeichnet und befinden sich unter jeder zugehörigen Tabelle (Fig. 8—11). Dabei ist l Abscisse und V_{sp} bez. V_{pl} Ordinate.

Eine Wiederholung der Versuche unter Anwendung einer *Accumulatorenbatterie* von 2000 Volt Spannung bestätigte die

Tabelle III.

Druck = 0,025 mm.

Ausdehnung des dunklen Raumes = 42 mm.

l	V_{sp}	V_{pl}	V_{sp}/l	V_{pl}/l
50	1730	4800*	34,6	96
40	1870	4360*	41,75	109
30	2000*	4000*	66,7	133,3
20	4000*	5100*	200	255
15	6330*	6630*	422	442
12,5	8550*	7750*	684	620
10	12800*	8950*	1280	895

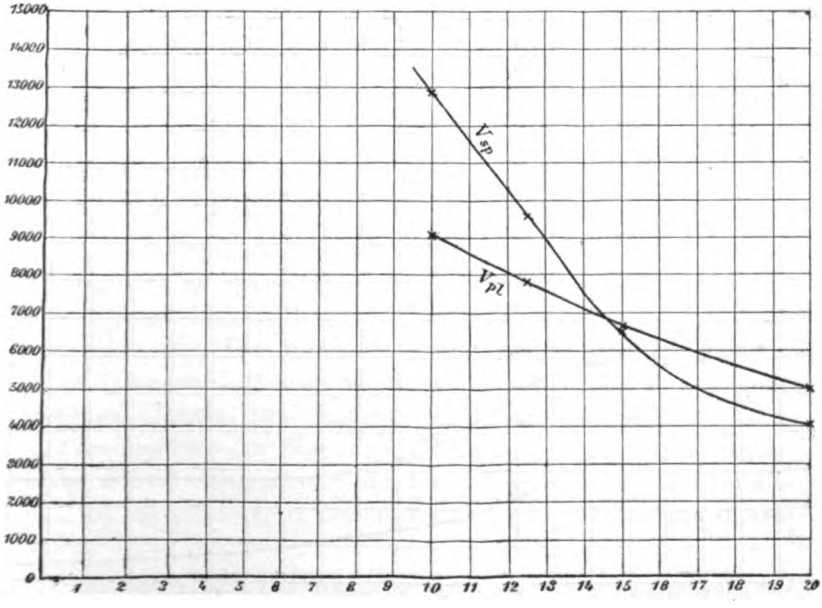


Fig. 10.

Digitized by Google

mit der Influenzmaschine erhaltenen Resultate in jeder Hinsicht. Erreichte bei Annäherung beider Electroden der dunkle Raum die Anode, so bog das positive Licht, indem es die Grenze des dunklen Raumes etwas eindrückte, nach rück-

Tabelle IV.

Druck = 0,042 mm.

Ausdehnung des dunklen Raumes = 25 mm.

l	V_{sp}	V_{pl}	V_{sp}/l	V_{pl}/l
50	320	2830*	6,4	56,6
40	450	3000*	11,25	75
30	550	3000*	18,3	100
20	550	2830*	27,5	141,5
15	700*	2830*	47	190
10	1420*	3160*	142	316
5	3160*	5750*	632	1150
3	8370*	5920*	2790	1973
2	8660*	5920*	4330	2960
1	14140*	6090*	14140	6090

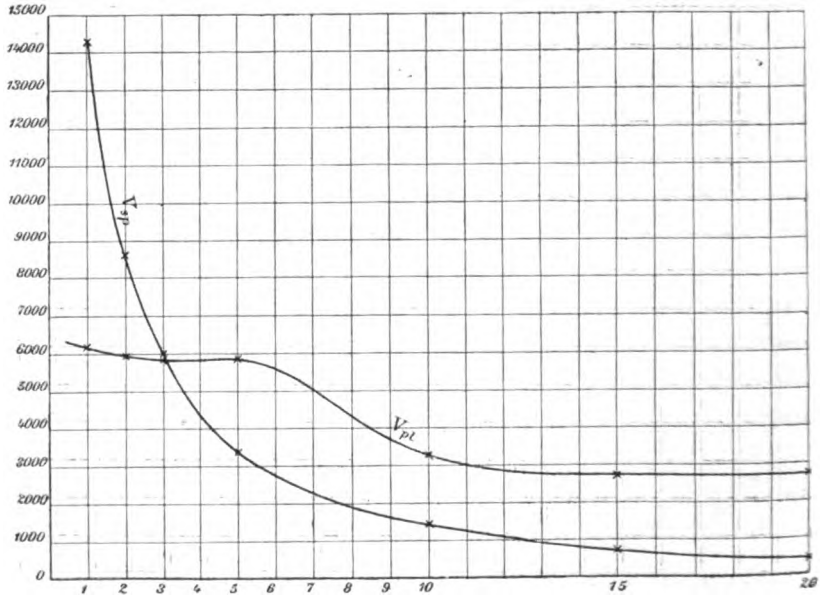


Fig. 11.

Digitized by Google

wärts um, bis die Entladung bei noch weiterer Annäherung der Electroden, der zu geringen verfügbaren Spannung wegen vollkommen aussetzte. Die Umkehr der Ventilwirkung trat auch hier deutlich hervor.

Aus den Zahlen der obigen Tabellen, sowie den zugehörigen Curven lässt sich nun eine Reihe von Schlüssen ziehen:

I. Der Strom geht von Spitze zu Platte.

a) Bei Annäherung sinkt das Entladungspotential gleichmässig, da der Widerstand im Rohre sinkt, bis

b) der dunkle Kathodenraum die Anode erreicht. Von hier an steigt das Entladungspotential, da das positive Licht sich jetzt umbiegen muss, um sich mit dem Glimmlicht zu vereinigen, und so einen längeren Weg zurückzulegen hat.

c) Das zuerst die Mitte der Platte kreisförmig bedeckende Kathodenstrahlenbündel wird bei Annäherung der Anode, durch die sich an der die Anode umhüllenden Glasröhre ausbildenden, secundären, dunklen Räume beeinflusst und von der Mitte aus ringförmig auseinander gedrängt. Die Kathodenstrahlen treffen daher die Anode nicht, bilden somit auch keine leitende Bahn für den Strom.[1])

d) Dringt die Anode noch tiefer in den dunklen Kathodenraum ein, so setzt letzterer der positiven Entladung einen so grossen Widerstand entgegen, dass die bisher stetige Entladung in die Form der disruptiven schnell gedämpften Entladung übergeht. Das Potential steigt hierbei ausserordentlich.

II. Der Strom geht von Platte zu Spitze.

a) Die Entladungen haben von Anfang an einen unsteten Charakter. Es gehen fast stets starke Wellen vom Rohr aus. Der Grund hiervon liegt wohl in der zu kleinen Oberfläche der Kathode. Die durch die grosse Anode zugeführten Electricitätsmengen können nicht genügend schnell durch den dunklen Raum zur Kathode abfliessen und geben daher gewissermassen zu Stauungen Veranlassung. Das Potential sinkt zuerst entsprechend der Verringerung des Widerstandes.

b) Erreicht der in diesem Falle bedeutend kleinere dunkle

1) Vgl. hiermit eine demnächst von Hrn. E. Wiedemann und mir erscheinende Abhandlung.

Digitized by Google

Raum die Anode, so findet auch hier ein wenngleich geringeres Anwachsen des Potentiales statt.

c) Die von der Spitze ausgehenden Kathodenstrahlen treffen stets die Platte, wodurch ständig eine leitende Verbindung zwischen den Electroden aufrecht erhalten bleibt.

d) Es findet bei grösserer Annäherung ein allmähliches Ansteigen des Entladungspotentiales statt und nicht wie bei I *d* ein plötzliches.

III. Die Festigkeit des dunklen Raumes bez. der Potentialgradient in demselben nimmt mit Annäherung der Anode an die Kathode stark zu, und bleibt nicht wie man eigentlich erwarten sollte, constant.

IV. Aus diesen Betrachtungen und aus der Wechselwirkung zwischen Anode und Kathode ergiebt sich auch die Erklärung der von Hrn. Hagenbach behandelten Umkehr der Ventilwirkung in Entladungsröhren. Er findet: Bei sehr niederen Drucken geht die Entladung leichter von Platte zu Spitze, bei mittleren Drucken hingegen leichter von Spitze zu Platte.

Ich habe die Versuche mit den von Hrn. Hagenbach angegebenen Röhren wiederholt. Statt des Inductoriums, welches das Vacuum sehr schnell verschlechtert, benutzte ich die 20 plattige Influenzmaschine. Hierdurch wurde eine bequemere Beobachtung als auch Messung der Erscheinungen erreicht, da die kleinen Energiemengen der Influenzmaschine das Vacuum nur in geringem Maasse beeinflussten. Ich maass Entladungspotentiale[1]) statt Stromstärken, um daraus den Schluss auf das jeweilige Ueberwiegen der Spitzen- oder Plattenstellung zu ziehen.

Meine Messungsresultate sind genau analog den von Hrn. Hagenbach gefundenen, und ich verzichte daher darauf, die Zahlen hier mitzutheilen, sondern suche nur die Erscheinungen, welche bei der Evacuation dieser Röhren auftreten, zu erklären.

1. *Sehr niedriger Druck.* Der Strom geht leichter von Platte zu Spitze, denn die von der Spitze ausgehenden Ka-

1) Letzteres hat auch Hr. Hagenbach bei einer Versuchsreihe gethan.

Digitized by Google

thodenstrahlen treffen stets die Platte und stellen eine leitende Verbindung her, während im umgekehrten Falle der von der Platte ausgehende dunkle Raum die Anode völlig umhüllt und dadurch den Stromdurchgang ausserordentlich erschwert.

2. *Mittlerer Druck.* Der Strom geht leichter von Spitze zu Platte, denn der an der Platte sich bildende dunkle Raum ist klein und erreicht die Anode nicht. Das positive Licht kann sich daher leicht mit dem Glimmlicht vereinigen, während im umgekehrten Falle die kleine Kathode die reichlich durch die Platte zuströmende Electricität nicht genügend schnell ableiten kann, wodurch der Widerstand der Röhre sich vergrössert.

Bei diesen Versuchen mit constantem Abstande der Electroden dehnt sich der dunkle Kathodenraum bei Veränderung der Evacuation soweit aus, bis er die Anode umhüllt, und dadurch eine Umkehr der Ventilwirkung eintritt. Bei den oben beschriebenen Versuchen mit der beweglichen Electrode hingegen war der Druck constant, d. h. Ausdehnung des dunklen Kathodenraumes constant. Die Anode wurde mechanisch durch Veränderung des Electrodenabstandes in den dunklen Raum eingeführt.

Das Ueberwiegen der Plattenstellung bei sehr niederen Drucken entspricht bei diesen Versuchen also einem sehr geringen Abstande der Electroden. Das Ueberwiegen der Spitzenstellung bei mittlerem Druck hingegen einem grossen Abstande der Electroden bei gleichem Druck, d. h. gleicher Ausdehnung des dunklen Raumes. Die aus den Tabellen gezogenen unter I und II angeführten Schlussfolgerungen erklären demgemäss vollkommen die Umkehr der Ventilwirkungen.

Zur Erläuterung des hohen Uebergangswiderstandes an der Kathode, wenn die Anode in den dunklen Raum eintaucht, können zwei Versuche von Hrn. E. Wiedemann[1]) und Hrn. W. Hittorf[2]) dienen, von denen besonders der erstere charakteristisch ist.

Hr. E. Wiedemann schaltete *zwei gleich lange* und *gleich weite* cylindrische Röhren, *die mit zwei Schliffen an*

1) E. Wiedemann, Wied. Ann. 20. p. 796. 1883.
2) W. Hittorf, Wied. Ann. 21. p. 95. 96. 1884.

Digitized by Google

die Pumpe gesetzt, gleichzeitig evacuirt werden konnten, parallel in den Stromkreis einer Influenzmaschine. Beide Röhren enthielten axial angebrachte drahtförmige Electroden, die bis zur Spitze mit Glas umgeben waren. Die Electroden der einen Röhre waren sehr nahe aneinander, während sie bei der zweiten weit voneinander entfernt waren. Bei hohem Druck ging die Entladung nur durch das erste Rohr mit geringem Abstand der Electroden, bei geringem Druck nur durch das zweite Rohr mit grossem Abstand der Electroden.

4. Einfluss der der Kathode benachbarten Glaswände auf die Form der Entladungen.

In den oben besprochenen Fällen beruht das Auftreten der abgerissenen disruptiven Entladungen darauf, dass, sei es die Anode selbst, sei es die positive Lichtsäule, in den dunklen Raum eingeführt wird. Man beobachtet aber das Auftreten eines sehr grossen Entladungspotentiales und von Entladungen von ganz demselben Aussehen, wie in dem obigen Fall auch in Röhren von *solcher Länge*, dass sicher nicht die Anode in den dunklen Raum der Kathode hineinragt. Es war zu untersuchen, ob auch hier dunkle Räume eine entsprechende Rolle wie im ersten Falle spielten. Herr E. Wiedemann[1]) hat darauf aufmerksam gemacht, dass dadurch dass die Glaswände in der Nähe der Kathode die Rolle von Kathoden übernehmen, die Kathodenstrahlen von denselben nach der Mitte des Rohres gedrängt werden.

Diese Ansicht und ihre Beziehung zur obigen Frage ist im Folgenden eingehender behandelt worden.[2]) Besonders untersucht sind:

Veränderungen der Dimensionen der Kathodenerscheinungen mit der Weite der Röhren und mit dem Druck in cylindrischen Röhren.

Es wurden drei gleichlange Röhren mit den Durchmessern 10, 20 und 30 mm gleichzeitig an die Quecksilberluftpumpe

1) E. Wiedemann u. H. Ebert, Sitzungsber. d. phys.-med. Soc. zu Erlangen, 12. Dec. 1891. p. 41.

2) Dass die dunklen Räume, die die positive Lichtsäule von den Wänden des Gefässes trennen, dunklen Kathodenräumen entsprechen, lässt sich aus Versuchen von H. Ebert u. E. Wiedemann schliessen. (Wied. Ann. 50. p. 235 u. 238. 1893.

Digitized by Google

gesetzt. Der Abstand der Electroden betrug 65 cm. Die kreisförmigen Electroden füllten in allen Röhren den Querschnitt vollkommen aus, ohne indess die Glaswandungen zu berühren. Durch einen Commutator konnten die drei Röhren nacheinander in den Stromkreis geschaltet werden.

Die nachstehende Tabelle giebt die Abhängigkeit der Dimensionen der Kathodenerscheinungen und des Entladungspotentiales von der Weite der Röhren und dem Druck, worüber soweit mir bekannt, noch keine Messungen vorliegen. Die Curve Fig. 12 zeigt die Abhängigkeit der Dicken der an der metallischen Kathode entstehenden dunklen Räume, Fig. 13 diejenige der Dicken der an den Glaswänden entstehenden secundären dunklen Räume vom Drucke in den drei Entladungsröhren. Die letzteren sind gleich der halben Differenz von dem Röhrendurchmesser und der Dicke des Kathodenstrahlenbündels. Die Curven sind nach den Zahlen der Tabellen gezeichnet.

Die mit einem Stern * versehenen Stellen bezeichnen, dass unter den betreffenden Versuchsbedingungen die ursprüngliche Entladungsform in die neue Form der kurz abgerissenen disruptiven Entladung überging.

Aus der umstehenden Tabelle geht hervor:

1. *Mit abnehmendem Drucke wachsen die dunklen Kathodenräume an der Kathode.*

Die Curve (Fig. 12) zeigt, dass die dunklen Räume bei höheren Drucken proportional der Abnahme des Druckes wachsen, jedoch bei niederen Drucken einige Zeit vor dem Eintreten der Funkenentladung schneller zunehmen, als der Druck sinkt. In den weiteren Röhren ist der dunkle Raum etwas grösser. Das Anwachsen desselben verläuft jedoch in allen Röhren analog.

2. *Das Kathodenstrahlenbündel wird mit abnehmendem Drucke immer schmaler; mit völligem Verschwinden desselben setzt die disruptive schnell gedämpfte Entladung ein.*

Zur Erklärung dieser Erscheinung kann man entweder annehmen, dass die bei dem Eintritt der positiven Entladung auf der ganzen Kathode entstehenden Bewegungen nach der Mitte zusammen gedrängt werden, oder aber, was wahrscheinlicher ist, dass die positive Entladung durch, an den Glaswänden ent-

Digitized by Google

Druck in mm Hg	Ausdehnung des dunklen Raumes in mm. Für die Durchmesser			Stärke des Kathodenstrahlenbündels in mm. Für die Durchmesser			Funkenpotential in Volt Für die Durchmesser			Dicke der secundären dunklen Räume für die Durchmesser		
$P =$	10 mm	20 mm	30 mm	10 mm	20 mm	30 mm	10 mm	20 mm	30 mm	10 mm	20 mm	30 mm
0,65	1			10			2475	2250	1935	0	0	0
0,424	2	2,6		9	20		1575	1850	1125	0,5	0	0
0,28	3,2	4,4		8	18		1530	1485	990	1	1	0
0,2	5,3	7,5	8	7	15,4	30	1665	1080	1035	1,5	2,3	0
0,164	7,1	8	10	5,7	14	26	1800	1080	990	2,2	3	2
0,12	8,4	9,3	12	4,3	13	21	1665	900	1080	2,9	3,5	4,5
0,068	10,2	12,9	13,7	3,8	12	19,1	1755	1035	1080	3,1	4	5,4
0,057	12,8	14	16,4	2,9	9,8	17,5	2916	1080	1080	3,6	5,1	6,2
0,055	—	17	20	2	8	15	4320	1440	1125	4	6	7,5
0,05	—	18,9	21,5	1,2	7,7	14,5	5220	1300	945	4,4	6,1	7,7
0,034	—	21	23,6	1	6	12,8	8760	1575	1170	4,5	7	8,6
0,029	*	24,5	26	0,5—0	5,2	12	15300	2025	1260	—	7,4	9,0
0,026	*	27	33,2	—	3,4	9,1	21990	2475	1395	—	8,3	10,4
0,023	—	32	36	—	2,9	7,9	—	3996	2475	—	8,6	11,4
0,021	—	—	44	—	2	5	—	7020	3816	—	9	12,5
0,018	—	*	—	—	1,4—0	3,3	—	14100	7020	—	—	13,3
0,016	—	*	*	—	—	—	—	21450	14700	—	—	—

Digitized by Google

stehende, secundäre dunkle Räume zusammengedrängt, ihren Weg nur durch den in der Mitte noch freigelassenen Raum einschlägt, und daher die Kathodenstrahlen in der Mitte der Electroden austreten. Die Metallelectrode nebst der sie umgebenden Glaswand bilden dann gleichsam eine cylindrische

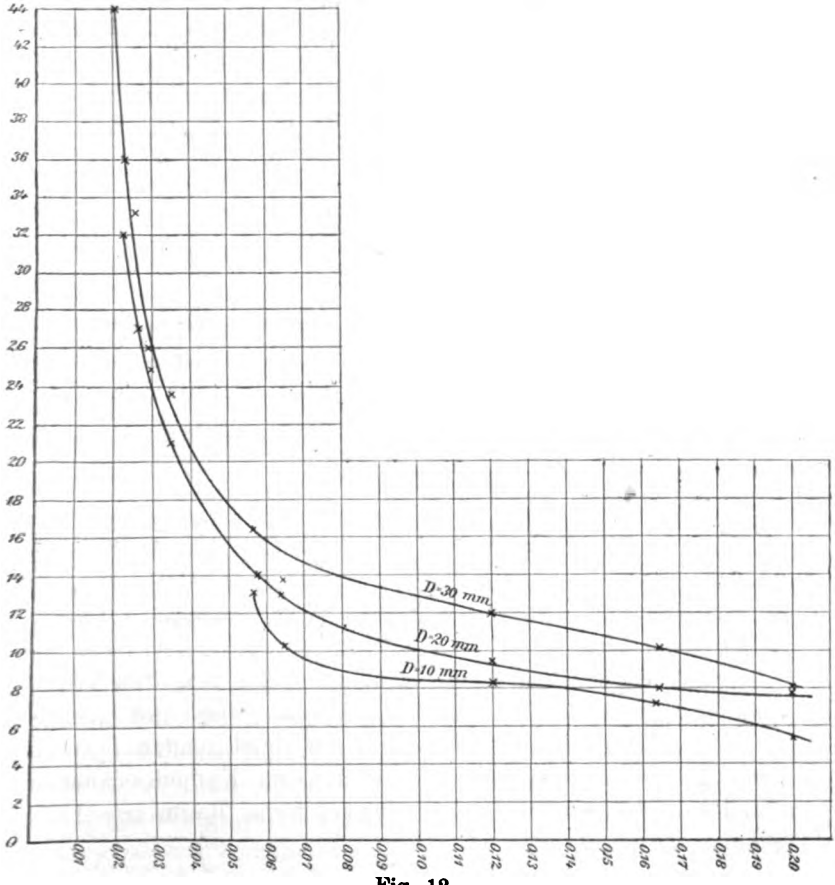


Fig. 12.

Hohlkathode. Dass die Richtung der Kathodenstrahlen die Richtung ist, in welcher die positive Entladung in die Kathode eintritt bez. die Potentialschwankungen stattfinden, ergiebt sich aus Versuchen von E. Wiedemann und G. C. Schmidt.[1])

1) E. Wiedemann u. G. C. Schmidt, Wied. Ann. 62. p. 607 ff. 1897.

Digitized by Google

Wie oben bemerkt, ist die Ausdehnung der dunklen Kathodenräume an der metallischen Kathode in verschieden weiten Röhren bei gleichem Drucke von der Rohrweite abhängig. Dasselbe ist mit den secundären dunklen Räumen der Fall, sie wachsen mit dem Durchmesser des Rohres.

Die für die secundären dunklen Räume gezeichnete Curve (Fig. 13) zeigt, dass auch diese wie die eigentlichen dunklen Räume zuerst proportional der Druckerniedrigung wachsen und von demselben Drucke an schneller zu wachsen beginnen, bei

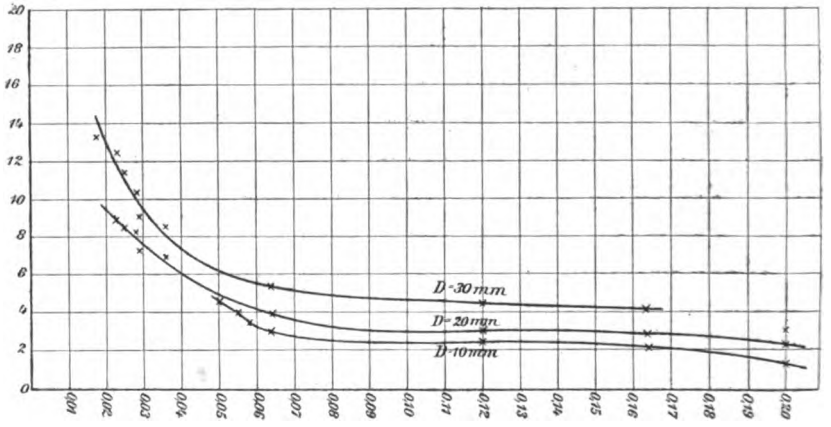


Fig. 13.

welchem auch die eigentlichen dunklen Kathodenräume schneller zu wachsen anfangen.

Diese Versuche ergaben also, dass die von den Glaswandungen ausgehenden *secundären dunklen Räume* sich gegenseitig nicht stark beeinflussen, sondern mit abnehmendem Drucke sich ganz analog den eigentlichen dunklen Kathodenräumen ausdehnen, falls letzteren ein genügend freier Raum zur Ausbildung zur Verfügung steht.

Diese *secundären dunklen Räume sind daher wohl nicht völlig gleich mit den an metallischen Kathoden entstehenden dunklen Räumen*, welche sich bekanntlich derartig beeinflussen, dass sie sich gegenseitig zusammendrücken. Diesbezügliche Versuche waren bisher stets mit feststehenden Electroden ausgeführt worden in der Art, dass man die Veränderungen in den dunklen Räumen bei verschiedenen Drucken beobachtete. Ein bequemes

Digitized by Google

Mittel, die gegenseitige Beeinflussung zweier dunkler Räume zu beobachten, bot die Anwendung einer beweglichen Electrode.

Die bewegliche Elektrode k war gleichzeitig mit einer bei g eingekitteten gleich grossen plattenförmigen Electrode k_1 (Fig. 14) mit dem negativen Pole der Influenzmaschine verbunden. Als Anode diente ein auf einen seitlichen kurzen Rohrstutzen aufgekittetes Aluminiumblech A.[1])

Bei grösserem gegenseitigen Abstand der Kathoden wurde das Rohr ausgepumpt, bis die dunklen Räume die gewünschte Grösse hatten, alsdann wurde die bewegliche Kathode k der feststehenden Kathode k_1 genähert und die dabei eintretende Zusammendrückung der dunklen Räume beobachtet.

Es wurde eine Messungsreihe mit kleinen dunklen Räumen und eine zweite mit grösseren dunklen Räumen angestellt.

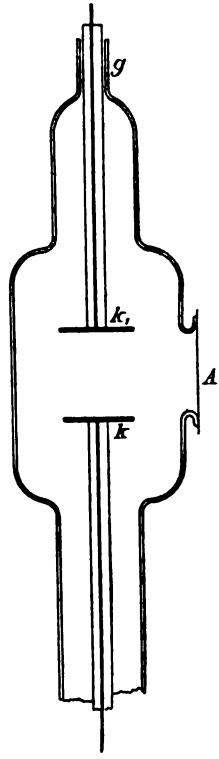


Fig. 14.

Bei diesen Versuchen treten folgende Erscheinungen auf: Bei sehr grossem gegenseitigen Abstand der Kathoden zog sich von der Anode her positives Licht in den Raum zwischen beide und floss dort gleichmässig in die beiden Glimmlichtschichten über. Wurden die Electroden genähert, so wurde das positive Licht herausgedrängt und lag als weisser Ring genau in der Mitte beider Kathoden dicht an der Glaswand. Näherte man die Kathoden noch weiter, so begannen die dunklen Räume sich gegenseitig zusammenzudrücken, bis bei noch grösserer Annäherung auch noch das Glimmlicht zur Seite herausgedrängt wurde, und sich die Summationsfläche ausbildete, welche, wie die genaue Beobachtung dieser Erscheinung zeigte, aus deflectirten und sich dadurch nach aussen drängenden Kathodenstrahlen besteht. Der hiermit eingetretene Zustand ist in den Tabellen mit einem * bezeichnet. Von diesem Augen-

1) Einen ähnlichen Versuch hat, wie ich nachträglich gefunden, auch Hr. Tollenaar angestellt (Academisch Proefschrift, Amsterdam 1897).

Digitized by Google

blick an kann man natürlich keine Grenze mehr für die dunklen Räume angeben, da die scharf begrenzte Summationsfläche stets genau in der Mitte zwischen beiden Kathoden liegt.

I. Versuchsreihe. Druck = 0,19 mm Hg. Ausdehnung des unbeeinflussten dunklen Raumes = 12 mm.		II. Versuchsreihe. Druck = 0,037 mm Hg. Ausdehnung d. unbeeinflussten dunklen Raumes = 27 mm.
Abstand der Electroden in mm	Ausdehnung d. dunkel. Räume in mm	Ausdehnung der dunkelen Räume in mm
60	—	27
50	—	20
40	12	16
30	10	11
20	7	10*
15	6	—
10*	5*	5*
5*	2,5*	2,5*

3. *Je weiter die Röhre ist, um so niedriger ist bei demselben Druck das Entladungspotential. Ob dies im Zusammenhang mit dem grossen Querschnitt des Kathodenstrahlenbündels steht, ist wohl wahrscheinlich.*

4. *Mit dem Abschneiden des Kathodenstrahlenbündels und mit dem Eintreten der disruptiven Entladung tritt eine starke Erhöhung des Entladungspotentiales ein und zwar bei den von mir benutzten Röhren fast auf das Doppelte.*

Bei einem gewissen Drucke nehmen die secundären dunklen Räume einen solchen Umfang an, dass sie die positive Entladung verhindern in gleichmässigem Strome zur Kathode zu gelangen. Infolge dessen verschwindet das sichtbare Kathodenstrahlenbündel, und es treten die disruptiven Entladungen auf.

Naturgemäss tritt diese Erscheinung in den engeren Röhren früher ein als in den weiteren.

Das Entladungspotential, bei welchem in den drei benutzten Röhren die disruptive schnell gedämpfte Form der Entladung auftrat, war in allen drei Röhren gleich. Ob diese eigenartige Thatsache auf Zufall beruht, oder ob sie gesetzmässig ist, ist noch zu untersuchen.

Eine entsprechende *Potentialänderung bei Veränderungen*

Digitized by Google

des Querschnittes eines Kathodenstrahlenbündels bei Einwirkung eines Magneten haben E. Wiedemann und H. Ebert nachgewiesen.[1]) Durch die Wirkung des Magneten auf die Kathodenstrahlen kann das Entladungspotential sowohl herabgesetzt, als auch erhöht werden. Bei schwachem Magnetfeld ist das Kathodenstrahlenbündel abgelenkt, aber noch nicht vollkommen zur Seite gedrängt, dagegen ist sein Querschnitt stark vergrössert. Dadurch ist wohl das kleinere Potential bedingt. Bei starkem Magnetfeld sind die Kathodenstrahlen und das Glimmlicht ganz an die Seite gedrückt und die positive Säule

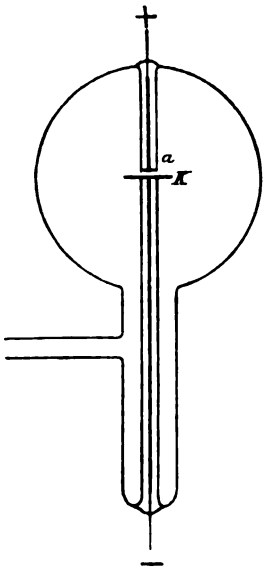


Fig. 15.

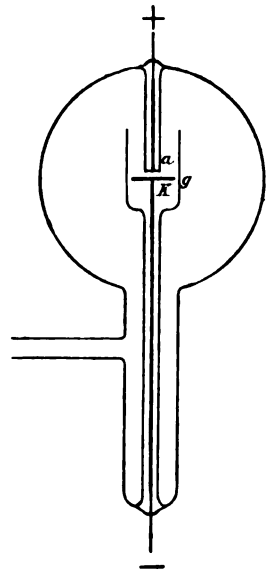


Fig. 16.

gelangt nicht zu den Stellen der Entladung, in denen sie ihren Ausgleich finden könnte.

Bemerkung. In allen den Fällen, wo die disruptive Entladung eintritt, zeigen sich an beiden Electroden der Röhre Kathodenerscheinungen, die disruptive Entladung regt das Rohr und die mit ihm verbundenen Theile zu Resonanzschwingungen an.

1) E. Wiedemann u. H. Ebert, Sitzungsber. der phys.-med. Soc. zu Erlangen, 14. Dec. 1891.

Digitized by Google

5. *Gleichzeitiger Einfluss der dunklen Räume an der metallischen Electrode und derjenigen an den Glaswänden.*

Weiter wurde noch der Einfluss des Zusammendrängens und schliesslichen Abschneidens der Kathodenstrahlen bei Röhren, bei denen die bis zur Spitze mit Glas umhüllte Anode in den dunklen Raum eingeführt wurde, untersucht.

a) Eine kugelförmige Röhre (Fig. 15 und 16) wurde einmal mit freistehender Kathode (Fig. 15), ein andermal mit einer von einer Glasröhre umgebenen Kathode (Fig. 16) untersucht. Die abgerissene disruptive Form der Entladung trat bei Röhre Fig. 15 bei einem Drucke $p = 0{,}04$ mm Hg und einem Entladungspotential $v = 14000$ Volt ein, während dieselbe Erscheinung in Röhre Fig. 16 durch frühzeitigeres Abschnüren der Kathodenstrahlen schon bei $p = 0{,}12$ mm Hg und $v = 10500$ Volt eintrat.

b) Ein ähnlicher Einfluss auf das frühzeitigere Eintreten

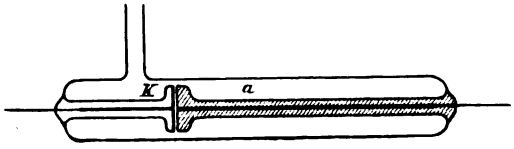


Fig. 17.

der kurz abgerissenen disruptiven Entladungen machte sich auch bei der in Fig. 2 abgebildeten Röhre bemerkbar, sobald das die Anode umhüllende Glasrohr an der Mündung derart verstärkt war, dass es den Querschnitt des Rohres fast ausfüllt (Fig. 17). Bei der Röhre wie Fig. 2 musste der Druck bis auf 0,14 mm Hg erniedrigt werden, bei Röhre Fig. 17 trat die typische Entladungsform schon bei einem Drucke $p = 0{,}3$ mm Hg ein.

c) Der Einfluss der Rohrweite auf das Kathodenstrahlenbündel wurde noch untersucht in der Röhre mit beweglicher Kathode (Fig. 1). Als Anode diente die kleine seitwärts in einem kurzen Rohrstutzen eingeschmolzene Elektrode *a*. Während die Kathode in dem unteren cylindrischen Theile stand, wurde das Rohr ausgepumpt bis auf ca. 0,02 mm Hg Druck. Das Kathodenstrahlenbündel hatte dabei eine Stärke von ungefähr 5 mm. Bewegte man nun die Kathode nach oben, so wurde mit dem Augenblicke, wo die Kathode in die kugelförmige

Digitized by Google

Erweiterung eintrat, das Kathodenstrahlenbündel breiter und bedeckte, als die Kathode im Mittelpunkt der Kugel angelangt war, die ganze Platte. Schob man nun die Kathode noch höher in den oberen cylindrischen Theil hinein, so wurde das Kathodenstrahlenbündel sofort wieder bis auf 5 mm Dicke zusammengedrängt. Entsprechend dieser Veränderung des Kathodenstrahlenbündels veränderten sich auch die Entladungspotentiale und zwar betrugen dieselben:

1. Im unteren cylindrischen Theile 4700 Volt,
2. im mittleren kugelförmigen Theile 2100 Volt,
3. im oberen cylindrischen Theile 4500 Volt,

sodass auch *hier dem weiten Rohr und dem dickeren Kathodenstrahlenbündel das niedrige Potential entspricht.*

Das etwas geringere Entladungspotential im oberen, dem unteren im Durchmesser ganz gleichen cylindrischen Theile erklärt sich durch den geringeren Abstand zwischen Anode und Kathode in diesem Falle. Zog man die Kathode wieder zurück, so konnte man in umgekehrter Reihenfolge dieselben Erscheinungen beobachten.

Eine weitere Abänderung des Versuches bestand darin, dass das Rohr, während die Kathode im unteren cylindrischen Theile, stand soweit ausgepumpt wurde, bis die disruptive, schnell gedämpfte Form der Entladung eintrat. Brachte man nun die Kathode in den kugelförmigen Theil, so hörte sofort diese Entladungsform auf, während sie im oberen cylindrischen Theile sofort wieder auftrat.

Da die im Vorhergehenden behandelte Form der Entladung ganz den Charakter der Entladungen in Luft von normalem Drucke zwischen zwei Kugeln besitzt, so wäre vielleicht passend der Ausdruck „*Funkenentladung*“ dafür zu wählen.

III. Zusammenhang zwischen den *X*-Strahlen und den Funkenentladungen in gasverdünnten Räumen.

Bei allen bisher beschriebenen Versuchen trat beim Eintritt der disruptiven, schnell gedämpften Entladungen eine ausserordentlich starke Fluorescenz der der Kathode benachbarten Glastheile ein und es drängt sich daher die Ver-

Digitized by Google

muthung auf, *dass in all diesen Fällen trotz des hohen Druckes und des relativ niedrigen Potentiales schon Röntgenstrahlen entstehen*, im Gegensatze zur Ansicht von Hrn. Trowbridge[1]), welcher als niedrigste Grenze des zur Erzeugung von *X*-Strahlen nothwendigen Potentiales 100000 Volt angiebt.

Um diese Vermuthung zu prüfen, muss man bestimmen, ob bei der Evacuation einer Röntgenröhre das Auftreten von *X*-Strahlen zeitlich mit dem Eintritt der Funkenentladung, beurtheilt nach dem Ansprechen der Frittröhre, zusammenfällt. Die sichere Bestimmung dieser Momente ist mit Schwierigkeiten verknüpft, da die Röntgenstrahlen in den Medien, die sie durchsetzen, stark absorbirt werden, und man nicht weiss, ob nicht schon vor dem Ansprechen des benutzten Wellenempfängers schwache Funkenentladungen vorhanden sind.

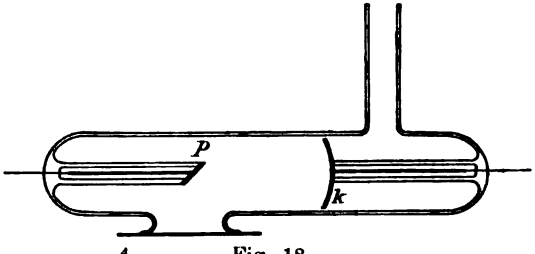


Fig. 18.

A. Benutzt wurde zu den Hauptversuchen eine sehr enge cylindrische Röhre (Fig. 18) mit einer Hohlkathode *K* und einer unter 45° zur Rohraxe geneigten kleinen Platinplatte *P* als Anode und Antikathode, die bis auf die der Kathode gegenüberstehende Fläche in Glas eingehüllt war. Der Abstand der Electroden war 5 cm. Auf einen seitlichen kurzen Rohrstutzen war ein dünnes Aluminiumblech *A* gekittet, um die *X*-Strahlen möglichst vollkommen aus dem Rohr austreten zu lassen. Dicht vor diesem Aluminiumblech stand ein grosser Fluorescenzschirm. Ferner befand sich dicht neben der Röhre die Branly'sche Frittröhre.

Bei einem Drucke $p = 0{,}2$ mm und dem geringen Potentiale von 7000 Volt (!) war die erste Spur von Röntgenstrahlen zu sehen und begann die Frittröhre schwach anzusprechen.

1) J. Trowbridge, Beibl. 21. p. 777. 1897.

Digitized by Google

Wurde der Druck bis auf $p = 0{,}12$ mm verringert, so waren sowohl die Röntgenstrahlen als auch die Wellen recht kräftig.

Das Auftreten von X-Strahlen ist daher wohl von keinem anderen Factor in so starkem Maasse abhängig, als von dem Entstehen disruptiver, schnell gedämpfter Entladungen.

Zahlreiche andere mehr qualitative Versuche, die nicht weiter beschrieben werden sollen, stützen diese Anschauung.

Ich glaube aus Obigem schliessen zu können, dass die kräftigen schnell gedämpften Funkenentladungen derjenigen besonderen Entladungsform entsprechen, welcher Hr. W. C. von Röntgen[1]) *und andere Forscher den Haupteinfluss auf die Entstehung von X-Strahlen zuschreiben.*

Die Röntgenstrahlen entstehen in erster Linie bei einer plötzlichen Störung, etwa einem kurzen Anprall geladener Theilchen gegen feste Körper.

B. Aus den Vorgehenden folgt, *dass alle diejenigen Umstände die für das Auftreten disruptiver schnell gedämpfter Entladungen in evacuirten Räumen besonders günstig sind auch für die Erzeugung von X-Strahlen günstig sein müssen.* Man kann die Funkenentladung entweder durch Anordnungen ausserhalb des Rohres oder durch die Construction desselben hervorrufen.

1. *Einfluss der Funkenstrecke.* Bei der von verschiedenen Forschern angewandten Methode, eine stärkere Emission von *X*-Strahlen bei schwach evacuirten Röhren durch eine vor die Anode geschaltete Funkenstrecke zu erzielen, werden eben disruptive, schnell gedämpfte Entladungen erzielt.

Einige diesbezügliche Versuche meinerseits ergaben folgendes:

Das *Vorschalten einer Funkenstrecke* wirkt bei einer guten Röntgenröhre *nachtheilig.* Das Rohr sendet, wie mittels einer Frittröhre nachgewiesen werden kann, schon an sich Wellen aus. Die vorgeschaltete Funkenstrecke erhöht daher nur den Widerstand und schwächt dadurch die Intensität des Stromes. Schaltet man hingegen vor eine Röntgenröhre mit zu hohem Drucke eine Funkenstrecke, so wird *die Fluorescenz erregende Wirkung* der Röhre geringer, *die Durchdringungskraft* der *X*-Strahlen wächst hingegen stark.

---

1) W. C. Röntgen, Wied. Ann. **64.** p. 31. 1898.

Digitized by Google

Wie eine Funkenstrecke muss auch eine soweit evacuirte Röhre, dass in ihr die Funkenentladung auftritt, wirken. In der That erhöhte eine jede der von mir im Obigen benutzten Röhren (z. B. Fig. 3) vor eine schlecht evacuirte Röntgenröhre geschaltet, bei Verminderung der Fluorescenzhelligkeit die Durchdringungskraft.

Ferner ist noch die Thatsache zu beachten, dass Röhren mit Teslaschwingungen angeregt schon bei Anwendung kleiner Inductorien relativ gute Resultate geben, selbst dann, wenn die Verdünnung noch nicht so weit getrieben ist, dass das Inductorium schon *X*-Strahlen erzeugen könnte.

2. *Einfluss der Construction der Röhren.* Jede Röhre sendet, vorausgesetzt, dass die Kathodenstrahlen in geeigneter Weise auf eine Platinfläche als Anode concentrirt werden, bei gewisser Evacuation kräftige *X*-Strahlen aus. Nach Vorstehendem kommen besonders folgende zwei Punkte bei der Construction von Röhren zur Erzeugung von *X*-Strahlen bei geringerem Evacuationsgrade in Betracht:

a) Der Abstand zwischen Kathode und Anode bez. Antikathode soll möglichst klein sein, damit der dunkele Kathodenraum die Anode (bez. Antikathode) möglichst bald umhüllt.

Die Herren R. Wood[1]), sowie D. Turner[2]) haben in der That gefunden, dass bei sehr nahe aneinanderstehenden Electroden und Vorschaltung einer passend gewählten Funkenstrecke sehr starke *X*-Strahlen entstehen und zwar nur dann, wenn die Entladung in der „*Form eines Flammenbogens*" übergeht. Der für diese Form der Entladung gebrauchte Ausdruck „*Flammenbogen*" scheint mir nicht den Thatsachen zu entsprechen, da diese Form der Entladung, wie eine Wiederholung der Versuche ergab, der oben beschriebenen „*Funkenentladung*" entspricht, also so weit wie möglich von der Art eines Flammenbogens verschieden ist.

b) Die Kathode soll möglichst klein sein und von einem möglichst engen Glasrohr umgeben sein, damit die von den Glaswänden ausgehenden secundären dunklen Räume ein mög-

1) R. Wood, Beibl. 21. 1897.
2) D. Turner, Beibl. 21. p. 786. 1897

Digitized by Google

lichst frühzeitiges Abschneiden des Kathodenstrahlenbündels herbeiführen.

Dass diese eben angeführten Punkte bisher sich vielfach schon aus der Praxis bei der Construction von Röntgenröhren ergeben haben, zeigt die nachstehende Aufführung einiger weniger Constructionen von Röntgenröhren zur möglichst starken Erzeugung von *X*-Strahlen.

1. Die Röhre der Allgemeinen Electricitäts-Gesellschaft. Die Kathode ist sehr klein und befindet sich in einem engen Rohr. Es tritt daher frühzeitiges Abschnüren des Kathodenstrahlenbündels ein. 2. Die Röhren von Siemens & Halske und verschiedenen anderen Firmen sind nicht kugelförmig, sondern cylindrisch. Diese Form begünstigt ein frühes Abschneiden des Kathodenstrahlenbündels und somit ein frühzeitiges Auftreten von *X*-Strahlen. 3. Hr. Colardeau macht den Abstand zwischen Anode und Kathode möglichst klein und findet, dass in diesem Falle schon bei relativ hohen Drucken *X*-Strahlen auftreten. 4. Hr. A. C. Swinton empfiehlt den Abstand zwischen Anode und Kathode möglichst gering zu machen, die Kathode klein zu wählen und sie so in ein Glasrohr zu setzen, dass sie der Wand möglichst nahe ist, ohne sie indessen zu berühren. 5. Hr. A. Righi und andere finden, dass in kleinen cylindrischen sehr engen Röhren der Gasdruck bei der Erzeugung von *X*-Strahlen wesentlich höher sein kann als in sehr weiten Röhren.

Resultate.

1. Der dunkle Kathodenraum verhält sich wie ein vollkommenes Dielectricum. In demselben erzwungene Entladungen verlaufen genau wie eine Entladung in Paraffinöl oder anderen Dielectricis. Diese Eigenschaft des dunklen Raumes, sich wie ein Dielectricum zu verhalten, dürfte eng verknüpft sein mit der Thatsache, dass in ihm das Potentialgefälle so grosse Werthe annehmen kann, wie zahlreiche Versuche es ergeben.

2. Die an den der Kathode benachbarten Wänden des Entladungsrohres entstehenden secundären dunklen Räume setzen dem Eindringen der von der Anode kommenden Entladungen einen sehr grossen Widerstand entgegen, sodass

Digitized by Google

diese Entladungen ihren Weg nur in den von den dunklen Kathodenräumen freien Raum nehmen können.

3. Röntgenstrahlen treten in Entladungsröhren ohne vorgeschaltete Funkenstrecke vor allem dann auf, wenn der Electricitätsübergang in ihnen als kurz abgerissener stark gedämpfter Funken stattfindet.

Zum Schlusse erfülle ich die angenehme Pflicht, meinem verehrten Lehrer Hrn. Professor Dr. E. Wiedemann für die vielseitige Unterstützung und Anregung während der Arbeit, sowie den Privatdocenten Herren Dr. Th. Simon und Dr. G. C. Schmidt für manchen werthvollen Rathschlag meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.

Digitized by Google

Lebenslauf.

Verfasser dieser Arbeit Arthur Wehnelt, evangelischer Confession, Sohn des verstorbenen Ingenieurs und Fabrikbesitzers Berthold Wehnelt und seiner Ehefrau Louise geb. Muckelberg, wurde am 4. April 1871 zu Rio de Janeiro, Brasilien, geboren. Er verbrachte seine Schulzeit theils auf dem Louisenstädtischen Gymnasium zu Berlin, theils auf dem Realgymnasium zu Landsberg a/W., welches er Ostern 1892 mit dem Zeugniss der Reife verliess.

Während seiner Studienzeit besuchte Verfasser die Technische Hochschule zu Berlin-Charlottenburg und die Universitäten Berlin und Erlangen. Er hörte dort die Vorlesungen der Herren Paalzow, Rüdorff, Lampe, Riedler, Stahl, Slaby, Kundt, Planck, Fischer, Warburg, Blasius, Rubens, E. Wiedemann, Nöther, Lenk, Simon und G. C. Schmidt.

Allen diesen Herren, im besonderen seinem hochverehrten Lehrer Hrn. Prof. E. Wiedemann spricht Verfasser seinen ehrerbietigsten Dank aus.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

UNIVERSITY OF CALIFORNIA LIBRARY,
BERKELEY

THIS BOOK IS DUE ON THE LAST DATE
STAMPED BELOW

Books not returned on time are subject to a fine of 50c per volume after the third day overdue, increasing to $1.00 per volume after the sixth day. Books not in demand may be renewed if application is made before expiration of loan period.

NOV 25 1921

4Dec51PA
27NOV'51LU

UCLA
INTERLIBRARY LOAN
14 DAYS AFTER RECEIPT
MAR 9 1970

Due end of FALL Quarter
subject to recall after — NOV 24 '70 6
IN STACKS NOV 10'70

REC'D LD DEC 15 70 -5 PM

20m-11,'20

YD00168

AC831
E7
v.25
Erlangen
86966

Digitized by Google